

VARIACIÓN EN EL PATRÓN TENDINOSO DE LA PALMA DE LA MANO EN TRES ESPECIES DE ANUROS DE LA FAMILIA MICROHYLIDAE**TENDON PATTERN VARIATION IN THE MANUS OF THREE SPECIES OF AMPHIBIANS BELONGING TO THE FAMILY MICROHYLIDAE**SILVIA DE OLIVEIRA-LAGÔA SFORZA¹; ESTEBAN O. LAVILLA^{2,3}; FÉLIX B. CRUZ⁴; VIRGINIA ABDALA^{2,5}¹Facultad de Ciencias exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. E-mail: silvi.lagoa@gmail.com²Instituto de Herpetología, Fundación Miguel Lillo – CONICET, San Miguel de Tucumán, Argentina. ³E-mail: eolavilla@gmail.com⁴INIBIOMA – CONICET – UNCOMA, San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina. E-mail: felixcbc@yahoo.es⁵IBN – Facultad de Ciencias Naturales (UNT) – CONICET, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. E-mail: virginia.abdala@unt.edu.ar

Resumen: En este trabajo se seleccionaron 12 ejemplares correspondientes a tres especies de la Familia Microhylidae del Paraguay, las cuales poseen el mismo modo locomotor y uso de hábitat. En estas especies se investigó el patrón tendinoso de la palma de la mano. Los datos acerca de estos tendones se usarán como insumos para estudios de sus relaciones con los aspectos ecológicos mencionados. El estudio cualitativo de los músculos y tendones se realizó con un microscopio binocular, encontrándose dos patrones tendinosos. El primer patrón, ya descrito por otros autores como patrón G, en el que los tendones flexores de los dedos parten directamente de la placa flexora y el sesamoide está ausente, se encontró en *Elachistocleis bicolor*; y el segundo patrón, o patrón L, caracterizado por los tendones flexores que parten directamente de la placa flexora con el sesamoide palmar embebido, está presente en las especies *Chiasmocleis albopunctata* y *Dermatonotus mulleri*. Las primeras aproximaciones no permiten asociar estos patrones a los aspectos ecológicos mencionados. Futuros estudios usando el método comparativo permitirán profundizar en esta temática.

Palabras clave: *Microhylidae*, morfología, músculos, tendones, mano.

Abstract: In this work 12 specimens of three species of the family Microhylidae that occur in Paraguay were selected, with the same locomotion mode and habitat use, so that a tendinous pattern of the *manus* could be traced. A qualitative study of muscles and tendons of the specimens was made under a binocular microscope, determining two tendinous patterns. The first pattern, as described by other authors as G pattern, in which the flexor tendons of the fingers start directly from the flexor plate and the sesamoid is absent, was found in *Elachistocleis bicolor*; and the second pattern, or L pattern, characterized by the flexor tendons that leave directly from the flexor plate with embedded palmar sesamoid, is present in the species *Chiasmocleis albopunctata* and *Dermatonotus mulleri*. The first approaches do not allow to associate these patterns to ecological aspects mentioned. Future studies using the comparative method will allow deepen this subject.

Key words: *Microhylidae*, morphology, muscles, tendons, manus.

INTRODUCCIÓN

La fuerza generada por los músculos estriados no cardíacos se transmite a los huesos por medio de tendones. Estos son estructuras conformadas por fibras de material conjuntivo, ricas en colágeno, dispuestas en forma paralela, que fijan o anclan el músculo a las articulaciones o huesos. Funcionalmente los tendones se desempeñan de diferentes maneras, incluyendo las de transmitir y manejar las fuerzas que reciben de los músculos, regular la suavidad y el control con que se distribuirán dichas fuerzas para movimientos de

precisión (como sucede con los tendones flexores de los dedos de animales con motricidad fina en la mano), actuando como frenos (restringiendo el movimiento), y/o como resortes y en la compensación metabólica, ahorrando energía (Benjamin *et al.*, 2002; Summers & Koob, 2002; Kardong, 2012).

En los miembros anteriores de los tetrápodos, el autopodio presenta tendones flexores en la superficie palmar, que conectan al músculo *flexor digitorum communis longus* del antebrazo con los dígitos. En algunas especies dichos tendones

pueden partir de una placa flexora o tendinosa (Haines, 1950; Abdala *et al.*, 2009). Esta placa es una estructura de tejido tendinoso que conecta al del músculo del antebrazo (el ya mencionado *m. flexor digitorum communis longus*), a través de los tendones flexores, con la porción basal de la falange terminal de cada dígito.

Frecuentemente los tendones reaccionan a fuerzas compresoras formando una almohadilla fibrocartilaginosa y, bajo estrés severo, sesamoides. Se infiere que la función de los sesamoides sería mejorar la resistencia mecánica a la carga compresora, y entre los más frecuentes dentro de tetrápodos se encuentra el sesamoide palmar (Jerez *et al.*, 2009; Ponssa *et al.*, 2010). En anuros, cuando el sesamoide palmar está presente, se ubica en posición ventral con respecto a los huesos carpales y está embebido en el tendón del *m. flexor digitorum communis longus* (Summers & Koob, 2002; Abdala *et al.*, 2009; Ponssa *et al.*, 2010).

Además, entre los tejidos conjuntivos ricos en colágeno se encuentran también las fascias, estructuras de tejido conjuntivo denso orientado que se presentan en capas planas y finas (laminares). Cada capa está constituida por fibras paralelas entre sí, para luego cada capa entrecruzarse formando una red con las capas adyacentes (Papadopoulos *et al.*, 1981; Summers & Koob, 2002; Paniagua *et al.*, 2002; Kardong, 2012). Las fascias cumplen un gran número de funciones, incluyendo el anclaje del músculo, la creación de compartimientos o “medias”, el apoyo a la circulación de la sangre en las extremidades, la coordinación muscular y la disipación del estrés mecánico (Benjamin, 2009).

Existen dos características primordiales de la fascia; una es su continuidad a través de toda la extensión del cuerpo, y la otra es su papel como órgano propioceptivo (Benjamin, 2009). Se reconocen dos tipos principales, según la ubicación y el tipo de tejido (Benjamin (2009). Ellas son (1) la fascia superficial, ubicada inmediatamente

debajo de la piel que conduce vasos sanguíneos y nervios, que promueve el movimiento entre el tegumento y las estructuras subyacentes, y (2) la fascia profunda, que es un poco más densa, rodea a músculos y tendones, formando el endomisio y epimisio y forma, además, una lámina entre músculos adyacentes permitiendo que se deslicen fácilmente uno sobre otro facilitando el movimiento (Benjamin, 2009). Las características de todas estas fascias serán consideradas en la descripción cualitativa del material analizado.

Finalmente, se conoce como aponeurosis palmar al tejido fibro-adiposo cuyo vértice se encuentra próximo a la articulación autopodio-zeugopodio (“muñeca”) y cuya base pasa por encima del *m. flexor digitorum communis longus*, desde donde se prolongan unas fascias hacia los dígitos. Esta estructura cumple la función de proteger a vasos y nervios de la presión, sujetar la piel al esqueleto para controlar el desplazamiento durante la locomoción, repartir la transmisión de fuerzas y estabilizar a los tendones flexores de los dedos (Bojsen-Moller & Flagstad, 1976; Benjamin, 2009).

Esta contribución se centra en la descripción anatómica relacionada con la locomoción en una especie de cada uno de los tres géneros de la familia Microhylidae registradas en Paraguay (*Chiasmocleis* Méhely, 1904, *Dermatonotus* Méhely, 1904 y *Elachistocleis* Parker, 1927). Se focaliza en la descripción de músculos y tendones de los miembros anteriores de las tres especies, ya que éstos podrían ser buenos descriptores de sus hábitos locomotores (Burton, 1996; Tulli *et al.*, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Todas las especies analizadas son formas con hábitos terrestres fosoriales, y los modos locomotores atribuidos a las especies en estudio se basan en observaciones personales y en la literatura (e.g. Ceï, 1980; Wells, 2007; Jorgensen & Reilly, 2013). El número de ejemplares analizados

para cada especie, así como la identificación de su procedencia, se incluyen en el Apéndice I. La toma de datos se ha realizado en tres colecciones de Paraguay (Colección Zoológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción, Museo Nacional de Historia Natural del Paraguay y una de Argentina (Instituto de Herpetología de la Fundación Miguel Lillo, Tucumán).

La selección de los músculos y tendones a estudiar se determinó siguiendo a Abdala *et al.* (2006; 2008), considerando los ángulos de inclinación de las fibras musculares (pinación), así como la presencia/ausencia de sesamoide en la palma de la mano a la hora de examinar las habilidades manuales en tetrápoda (Abdala *et al.*, 2009). Se incluyen datos referentes a características generales del sistema tendinoso en que están embebidos. Los ejemplares fueron observados bajo un microscopio binocular.

RESULTADOS

En todos los ejemplares estudiados, el músculo *flexor digitorum communis longus* se origina en la región distal del húmero; partiendo de un tendón corto y ancho desde una aponeurosis que recubre el codo, recorre la cara ventral del antebrazo y se inserta en la placa flexora. De esta placa se originan los tendones flexores de los dedos III, IV y V, que se insertan en la porción basal de la falange distal de los dígitos correspondientes. El músculo *flexor carpi ulnaris* se origina a partir del *epicondylus medialis* insertándose en el extremo distal de la ulna, conectándose por fibras al músculo *flexor digitorum communis longus* (fig. 1).

Todos los ejemplares presentan, además, una fascia superficial y otra profunda; en algunos casos la fascia superficial, así como la aponeurosis palmar, de tejido conjuntivo y adiposo que se extiende por encima de la placa flexora de tejido tendinoso que se origina del músculo *flexor digitorum communis longus*, se presentó coloreada. Las fibras musculares del *flexor carpi*

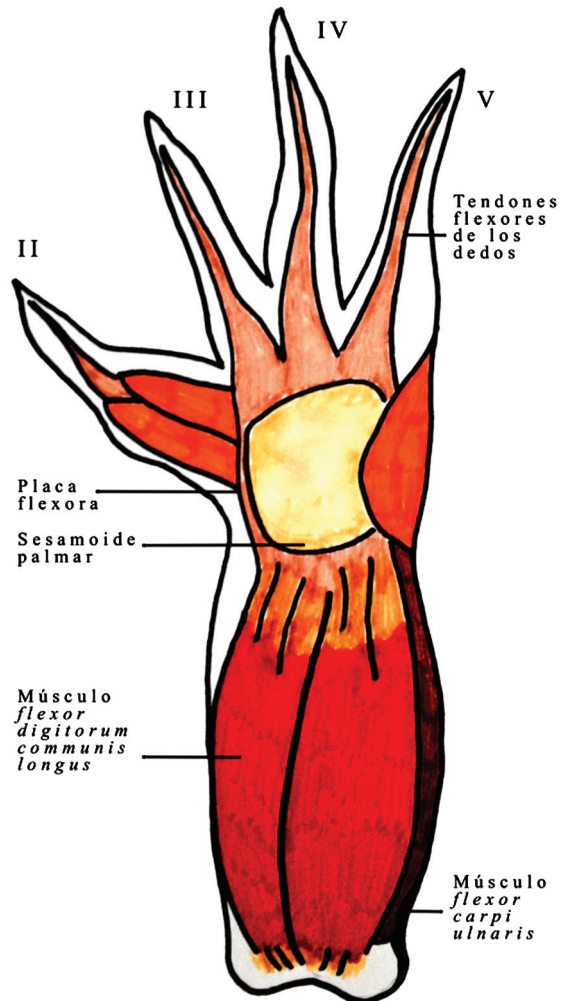


Figura 1. Estructura muscular básica de la palma de la mano en la familia Microhylidae.

ulnaris se encuentran dispuestas en un ángulo de pinación $<45^\circ$ constante en todas las especies analizadas.

A continuación se enumeran las diferencias y semejanzas encontradas entre las tres especies de Microhylidae estudiadas:

Elachistocleis bicolor

El músculo *flexor digitorum communis longus* se inserta en la placa flexora. De la placa tendinosa o flexora se originan los tendones flexores de los dedos III, IV y V, que se insertan en la porción basal de la falange distal de los dígitos correspondientes (Fig. 2 a).

Dermatonotus muelleri

El músculo *flexor digitorum communis longus* se inserta en la placa flexora, que presenta un sesamoide embebido. De la placa tendinosa se originan los tendones flexores de los dedos III, IV y V que se insertan en la porción basal de la falange distal de los dígitos correspondientes. En esta especie se logró aislar el tendón flexor del dígito II, que se origina en la placa tendinosa hasta la falange distal; el mismo se encontraba adherido fuertemente al músculo y recubierto por fascia, quedando así indistinguible de los músculos *opponens* y *flexor digitorum II longus* (Fig. 2 b).

Chiasmocleis albopunctatus

El músculo *flexor digitorum communis longus* se inserta en la placa flexora o tendinosa. En la placa tendinosa se encuentra un sesamoide embebido. De la placa tendinosa se originan los tendones flexores de los dedos III, IV y V que se insertan en la porción basal de la falange distal de los dígitos correspondientes (Fig. 2 c).

En la mayoría de los textos clásicos sobre anatomía de anuros no se describen patrones tendinosos ni variaciones (ia Ecker, 1889; Gaupp, Ecker & Wiedersheim, 1896; Duellman & Trueb 1994) de los miembros. En todos los ejemplares estudiados el músculo *flexor digitorum communis longus* se origina en la región distal del húmero, a través de un tendón corto y ancho desde una aponeurosis que recubre el codo, recorriendo la cara ventral del antebrazo (Burton, 1996; Manzano *et. al.* 2008). El músculo *flexor carpi ulnaris* se origina a partir del *epicondylus medialis* conectándose por fibras al músculo *flexor digitorum communis longus* (Ecker, 1889).

Todos los ejemplares presentan una fascia superficial y otra profunda; en algunos casos la fascia superficial, así como la aponeurosis palmar, de tejido conjuntivo y adiposo que se extiende por encima de la placa flexora de tejido tendinoso que se origina del músculo *flexor digitorum communis longus* se presentó coloreada. El estado más común es la presencia de la placa flexora (Haines

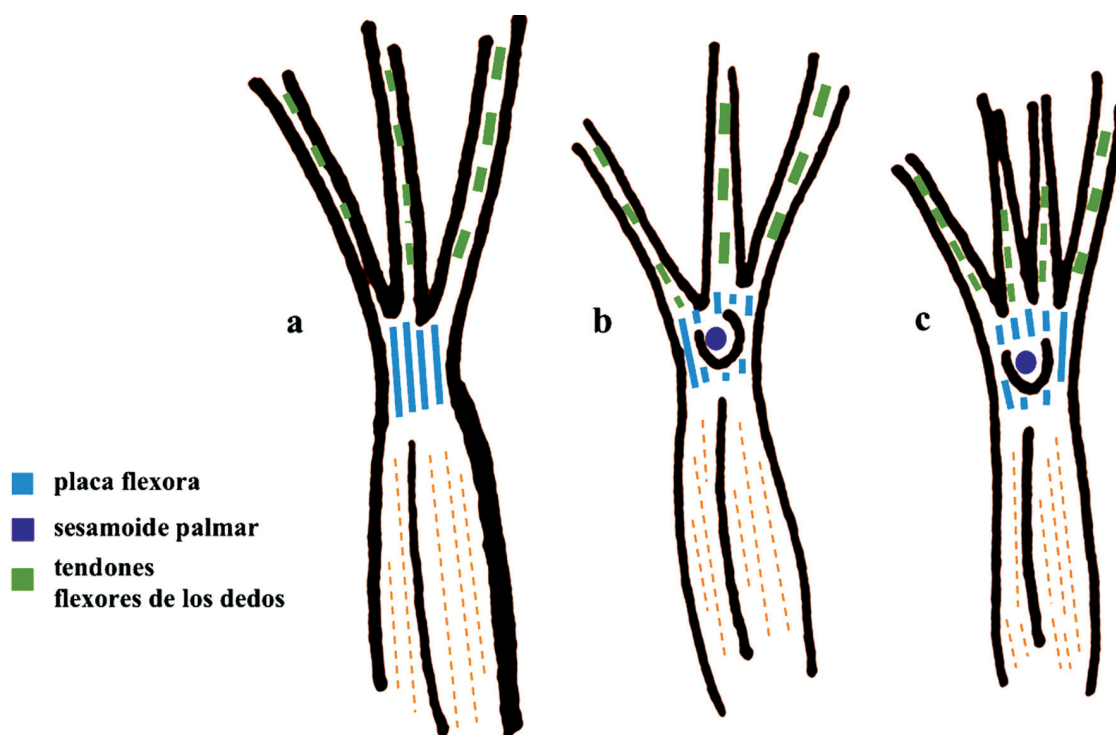


Figura 2. Patrones tendinosos de la palma de la mano de las especies analizadas: **a)** *Elachistocleis bicolor*. **b)** *Chiasmocleis albopunctatus*. **c)** *Dermatonotus muelleri*. **Observación:** los tamaños no se corresponden con escalas corporales.

1950; Moro & Abdala, 2004; Abdala *et al.*, 2009), por encima de la cual se extiende la aponeurosis palmar (Haines, 1950; Abdala & Diogo, 2010).

DISCUSIÓN

La presencia del sesamoide palmar y la placa flexora fue observada en *Chiasmocleis albopunctata* y en *Dermatonotus muelleri*, pero no en *Elachistocleis bicolor*. Una explicación plausible para la falta de sesamoide palmar está en el proceso de miniaturización verificado en la familia Microhylidae (Wells, 2007), que se evidencia fuertemente en la estructura del autopodio, principalmente por el hecho de que una de las consecuencias más comunes es la disminución o pérdida completa de elementos osteológicos, que además podría estar correlacionada con el hábito fosorial (Nomura & Langeani, 2009).

A pesar de que *Chiasmocleis albopunctata* haya pasado por un proceso de miniaturización en su historia evolutiva, las miniaturizaciones presentan diferentes consecuencias morfológicas en las especies (Hanken & Wake, 1993). Se podría hipotetizar que a pesar de que *Chiasmocleis albopunctata* y *Elachistocleis bicolor* sean ejemplos de un proceso de miniaturización sus consecuencias morfológicas son diferentes por ser líneas filogenéticas diferentes en la familia Microhylidae (De Sá *et al.*, 2012), donde *E. bicolor* muestra la interrupción en el desarrollo del sesamoide palmar causando su desaparición, mientras que *C. albopunctata* presenta unamarcada reducción del mismo elemento.

En las tres especies analizadas el músculo *flexor carpi ulnaris* presentó un ángulo de pinación constante de <45°. Este ángulo de pinnación esta relacionado con la variación de la tensión generada por el músculo (Kardong, 2012), probablemente asociado a la coordinación de movimientos de la extremidad (Gans & De Vree, 1987).

El estudio de la anatomía de los músculos y tendones de los miembros anteriores nos permiten concluir que existen estructuras conservativas en todos los taxa (por ejemplo *m. flexor digitorum communis longus*, *m. flexor carpi ulnaris* y

los tendones flexores de los dedos (III, IV y V). Al mismo tiempo permite inferir que los elementos podrían ser consecuencias de procesos independientes de miniaturización en *E. bicolor* y *C. albopunctata*. Así otros estudios, como el de Jorgensen y Reilly (2013), han demostrado la gran variación de caracteres morfológicos asociados a especializaciones presentes están al caminar y salto corto y a especializaciones al habito fosorial (De Sá *et al.*, 2012).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Colección Zoológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción, Museo Nacional de Historia Natural del Paraguay, Instituto de Investigación Biológica del Paraguay y al Instituto de Herpetología de la Fundación Miguel Lillo, Tucumán por habernos facilitado los materiales de estudio, así también por su hospitalidad a la hora de recibirnos y permitirnos utilizar sus instalaciones y equipamientos.

LITERATURA CITADA

- ABDALA, V.; MORO, S. & D. FLORES. 2006. The flexor tendons in the didelphid manus. *Mastozoología Neotropical* 13:193-204.
- ABDALA, V.; MANZANO, A. S. & A. HERREL. 2008. The distal forelimb musculature in aquatic and terrestrial turtles: phylogeny or environmental constraints? *Journal of Anatomy* 213: 159–172.
- ABDALA, V.; MANZANO, A. S.; TULLI, M. J. & A. HERREL. 2009. The tendinous patterns in the palmar surface of the lizard manus: functional consequences for grasping ability. *The Anatomical Record* 292: 242–253.
- BENJAMIN, M., KUMAI, T., MILZ, S., BOSZCZYK, B. M., BOSZCZYK, A A, & RALPHS, J. R. (2002). The skeletal attachment of tendons--tendon "entheses". *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*,

- 133(4): 931–45.
- BOJSEN-MOLLER, F., & FLAGSTAD, K. E. 1976. Plantar aponeurosis and internal architecture of the ball of the foot. *Journal of anatomy*, 121(Pt 3), 599–611.
- BURTON, T. C. 1996. Adaptation and Evolution in the Hand Muscles of Australo-Papuan Hylid Frogs (Anura : Hylidae : Pelodyadinae). *Australian Journal of Zoology*, 44(1970): 611–623..
- CEI, J. M. 1980. Amphibians of Argentina. *Monitore Zoológico Italiano*, (N.S.), Monogr. 2: i-xii, 1-609.
- DE SÁ, R. O., STREICHER, J. W., SEKONYELA, R., FORLANI, M. C., LOADER, S. P., GREENBAUM, E., ... & HADDAD, C. F. 2012. Molecular phylogeny of microhylid frogs (Anura: Microhylidae) with emphasis on relationships among New World genera. *BMC Evolutionary Biology*, 12(1), 241.
- DUELLMAN, W., & L. TRUEB. 1994. *Biology of Amphibians*. The John Hopkins University Press Baltimore y Londres.: 610 pp.
- ECKER, A. 1889 . *The anatomy of the frog*. Oxford University Press Warehouse. Londres, 449pp.
- FROST, D. R., GRANT, T., FAIVOVICH, J., BAIN, R. H., HAAS, A., HADDAD, C. F., ... & WHEELER, W. C. 2006. The amphibian tree of life. *Bulletin of the American Museum of natural History*, 1-291.
- GANS, C., & DE VREE, F. 1987. Functional bases of fiber length and angulation in muscle. *Journal of morphology*, 192(1)
- GAUPP, E. 1896. *Ecker's und R. Wiedersheim s Anatomie des Frosches*, vol. 2. 222 pp.
- HAINES, R. W. 1950. The flexor muscles of the forearm and hand of lizards and mammals. *Journal of Anatomy*, (84): 13–29.
- JEREZ, A.; MANGIONE, S., & V. ABDALA. 2009. Occurrence and distribution of sesamoid bones in squamates: a comparative approach. *Acta Zoologica*, xx: 00-00.
- JORGENSEN, M. E., & S., M., REILLY. 2013. Phylogenetic patterns of skeletal morphometrics and pelvic traits in relation to locomotor mode in frogs. *Journal of evolutionary biology*, 26(5): 929–43.
- KARDONG, K. V. 2012. *Vertebrates: Comparative Antamoy, Function, Evolution* (Sixth Edit., p. 794). New York: McGraw-Hill.
- MANZANO, A. S.; ABDALA, V. & A. HERREL. 2008. Morphology and function of the forelimb in arboreal frogs: specializations for grasping ability? *Society*, 213(April): 296–307.
- MORO, S., & ABDALA, V. 2004. Análisis descriptivo de la miología flexora y extensora del miembro anterior de *Polychrus acutirostris* (Squamata, Polychrotidae). *Papéis Avulsos de Zoologia* (São Paulo), 44(5): 81-89.
- NOMURA, F., ROSSA-FERES, D. C., & LANGEANI, F. 2009. Burrowing behavior of *Dermatonotus muelleri* (Anura, Microhylidae) with reference to the origin of the burrowing behavior of Anura. *Journal of Ethology*, 27(1), 195-201.
- PAPADOPOULOS, N. J., SHERIF, M. F., & ALBERT, E. N. 1981. A fascial canal for the great saphenous vein: gross and microanatomical observations. *Journal of anatomy*, 132(Pt 3): 321–9.
- PONSSA, M. L., GOLDBERG, J., & ABDALA, V. 2010. Sesamoids in anurans: new data, old issues. *Anatomical record* (Hoboken, N.J. : 2007), 293(10): 1646–68.
- SUMMERS, A. P., & T. J., KOOB. 2002. The evolution of tendon morphology and material properties. *Comparative biochemistry and physiology*. Part A, Molecular & integrative physiology, 133(4): 1159–70.
- TULLI, M. J.; HERREL, A.; VANHOOYDONCK, B.; & V. ABDALA. 2011. Is phylogeny driving tendon length in lizards? *Acta Zoologica*, 20: 1–11.
- WELLS, K.D. 2007. *The ecology & behavior of Amphibians*. The University of Chicago Press, Chicago y Londres. 1148 pp.

APÉNDICE I

Listado de especímenes estudiados

Los especímenes disecados son parte de las colecciones científicas y didácticas zoológicas de la Fundación Miguel Lillo en Tucumán, Argentina (FML), de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción en la Ciudad Universitaria San Lorenzo, Paraguay (CZCEN) y del Museo Nacional de Historia Natural del Paraguay en San Lorenzo, Paraguay (MNHNP).

Chiasmocleis albopunctatus: CZCEN 0808, CZCEN 0807.

Dermatonotus muelleri: CZCEN 0356, CZCEN 0556, CZCEN 0181, CZCEN 014 (depositados en la colección didáctica de la FaCEN (CD FaCEN), MNHNP 0833.

Elachistocleis bicolor: FML 25365, FML 25364, FML 25363, FML 25362, FML 25361.